

Beschreibung**Halbleiterlaserchip und Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterlaserchips**

5

Die Erfindung betrifft einen Halbleiterlaserchip sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterlaserchips.

Insbesondere im Bereich der optischen Nachrichtentechnik ist es erforderlich, einen von einem Halbleiterlaser emittierten Laserstrahl in eine Glasfaser zu führen und diesen durch die Glasfaser hindurch von einem Sender, dem Halbleiterlaser, zu einem Empfänger, beispielsweise einem Telekommunikations-Vermittlungselement oder auch einem weiteren

10 Kommunikationselement, allgemein einem optischen Empfänger, zu übertragen.

Das Einkoppeln der emittierten Lichtleistung eines kantenemittierenden Halbleiterlasers in eine Glasfaser wird

20 durch die fehlende Nahfeld-Fleckanpassung zwischen dem Halbleiterlaser und einer üblichen Glasfaser deutlich erschwert.

Der Fleckdurchmesser eines üblichen Halbleiterlasers beträgt

25 für den Grundmodus ungefähr 1 μm bis 2 μm , vorzugsweise 1,5 μm transversal und 2 μm bis 3 μm lateral.

Der Fleckdurchmesser wird bei einer Glasfaser durch ihren Kerndurchmesser bestimmt und liegt in einem Bereich von 6 μm .

30

Die oben erläuterte, mangelhafte Nahfeld-Fleckanpassung führt insbesondere im Bereich des für die optischen Nachrichtenübertragung wichtigen Wellenlängenbereichs von 1,3 μm bis 1,5 μm ohne zusätzliche Maßnahmen zu

35 Halbleiterlaserchip-Glasfaser-Koppelwirkungsgraden von unter 10% bis 20%.

Zur Verbesserung des Halbleiterlaserchip-Glasfaser-Koppelwirkungsgrades ist es bekannt, eine Einkoppeloptik mit einem Ein-Linsen oder auch Mehr-Linsen-System vorzusehen, mittels der der von dem kantenemittierenden

5 Halbleiterlaserchip emittierte Laserstrahl mittels der Einkoppeloptik als Strahlformer gebündelt und in entsprechender fleckdurchmesser-angepasster Form in die Glasfaser eingekoppelt wird.

10 Die Einkoppeloptik ist üblicherweise zwischen dem Halbleiterlaserchip und der Glasfaser, die mit dem Halbleiterlaserchip gekoppelt werden soll, angeordnet.

Gemäß dem Stand der Technik ist jedoch das gesamte System
15 Halbleiterlaserchip-Einkoppeloptik-Glasfaser als hybride Anordnung realisiert, weshalb ein erheblicher Nachteil dieses Systems in der erforderlichen hochpräzisen und damit aufwendigen Justierung der Einkoppeloptik bzw. der in der Einkoppeloptik vorhandenen Linsen relativ zu dem
20 Halbleiterlaserchip zu sehen ist.

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, einen Halbleiterlaserchip sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterlaserchips anzugeben, mit denen eine vereinfachte
25 und somit kostengünstige Einkopplung von Laserlicht in eine Glasfaser mit gegenüber dem bekannten System vergleichbaren Koppelwirkungsgraden erreicht wird.

Das Problem wird durch den Halbleiterlaserchip sowie durch
30 das Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterlaserchips mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

Ein Halbleiterlaserchip weist ein Halbleiterlaserelement und ein in den Halbleiterlaserchip integrierten Strahlformer auf.
35 Der Strahlformer dient zum Formen eines von dem Halbleiterlaserelement emittierten Laserstrahls und ist in Austrittsrichtung des von dem Halbleiterlaserelement

emittierten Laserstrahls in dem Halbleiterlaserchip integriert angeordnet derart, dass der von dem Halbleiterlaserelement emittierte Laserstrahl durch den Strahlformer geführt wird, entsprechend der Ausgestaltung des Strahlformers in seiner Strahlform verändert wird und der durch den Strahlformer veränderte Laserstrahl beispielsweise einer Glasfaser zuführbar ist. Der Strahlformer weist vorzugsweise ein vorgegebenes Konzentrationsprofil von oxidiertem Aluminium auf.

10

Bei einem Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterlaserchips wird ein Halbleiterlaserelement gebildet und in Austrittsrichtung eines von dem Halbleiterlaserelement emittierten Laserstrahls wird ein Strahlformer gebildet derart, dass der emittierte Laserstrahl durch den Strahlformer geführt wird.

15

Der Strahlformer wird gebildet, indem

- in Austrittsrichtung eines von dem Halbleiterlaserelement emittierten Laserstrahls ein Strahlformerbereich gebildet wird, wobei der Strahlformerbereich Aluminium enthält,
- in dem Strahlformerbereich ein gewünschtes Aluminium-Konzentrationsprofil gebildet wird,
- eine selektive Oxidation des Strahlformerbereichs durchgeführt wird, so dass abhängig von dem Aluminium-Konzentrationsprofil der Strahlformer gebildet wird.

20

25

Anschaulich kann die Erfindung darin gesehen werden, dass sowohl das Halbleiterlaserelement als auch der Strahlformer, der einer Einkoppeloptik im Wesentlichen entspricht, gemeinsam in einem Halbleiterlaserchip integriert sind.

30

Die Erfindung weist gegenüber dem Stand der Technik wesentliche Vorteile auf.

35

094433 03404
FOIEBO E2244660

Insbesondere ist der erfindungsgemäße Halbleiterlaserchip kompakt, einfach herstellbar und aufgrund der einstückigen Ausführung sehr störungsunanfällig und robust.

- 5 Ferner ist eine aufwendige Justierung der Einkoppeloptik wie bei der hybriden Anordnung gemäß dem Stand der Technik nicht mehr erforderlich.

- 10 Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Der Strahlformer kann monolithisch in den Halbleiterlaserchip integriert sein.

- 15 Ferner kann der Strahlformer aluminium-haltiges Material, vorzugsweise eine Materialkombination zumindest einer der folgenden Materialsysteme aufweisen:

- Indium-Gallium-Aluminium-Antimonid (InGaAlSb),
- Gallium-Aluminium-Arsenid-Antimonid (GaAlAsSb), oder
- 20 • Indium-Aluminium-Arsenid-Antimonid (InAlAsSb).

- Da insbesondere Aluminiumoxid eine niedrigere Brechzahl aufweist als das für das Halbleiterlaserelement üblicherweise verwendete Halbleitermaterial, kann durch Oxidation des
- 25 aluminium-haltigen Materials mittels selektiver Nassoxidation oder Trockenoxidation eines Strahlformbereichs, so dass der Strahlformer gebildet wird, sehr exakt die gewünschte Strahlformfunktionalität realisiert werden.

- 30 Zwischen dem Halbleiterlaserelement und dem Strahlformer kann ein Graben bzw. eine Nut vorgesehen sein, die das Halbleiterlaserelement und den Strahlformer derart voneinander trennen, dass in Austrittsrichtung des Halbleiterelements an dessen Laserstrahl-Austrittskante
- 35 zwischen der Laserstrahl-Austrittskante und dem laserseitigen Eintrittsbereich des Strahlformers ein Luftspalt gebildet

wird, der beispielsweise mit einem vorgegebenen Dielektrikum gefüllt sein kann.

Der Luftspalt bzw. der Graben bilden anschaulich einen
5 Vorderseitenspiegel, der insbesondere bei Einsatz eines FP-Lasers (Fabry-Perot-Laser) vorteilhaft einsetzbar ist.

Aber selbst ohne den Luftspalt bildet beispielsweise eine Ausgestaltung des Halbleiterlaserelements als DFB-Laser
10 (Distributed Feed Back-Laser) einen sehr effizienten und störungsunanfälligen Halbleiterlaser.

Die Ausgestaltung des Strahlformers kann derart erfolgen, dass gemäß den optischen Gesetzen der von dem
15 Halbleiterlaserelement emittierte Lichtstrahl in eine gewünschte Form gebracht wird, beispielsweise gebündelt wird.

So kann der Strahlformer auch als konkave oder konvexe Linse ausgestaltet sein, um die entsprechende
20 Strahlenformerfunktion zu realisieren.

Der Graben bzw. der Abstand zwischen der Laserstrahl-Emissionskante des Halbleiterlaserelements und der laserstrahlseitigen Oberfläche des Strahlformers liegt
25 vorzugsweise in einem Bereich von maximal 15 μm .

Der Strahlformer kann beispielsweise gebildet werden, indem in Austrittsrichtung eines von dem Halbleiterlaserelement emittierenden Laserstrahls ein Strahlformerbereich gebildet
30 wird, der Aluminium bzw. aluminium-haltiges Material enthält.

In dem Strahlformerbereich wird ein gewünschtes Aluminium-Konzentrationsprofil gebildet und anschließend wird eine selektive Oxidation des Strahlformerbereichs durchgeführt, so
35 dass abhängig von dem Aluminium-Konzentrationsprofil der Strahlformer in der gewünschten Form ausgestaltet wird.

6

Insbésondere diese Vorgehensweise zeichnet sich durch ihre Einfachheit und die geringe Anzahl erforderlicher Prozesssschritte zur Herstellung des Halbleiterlaserchips gemeinsam mit der Einkoppeloptik, d.h. dem Strahlformer, aus.

5

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass ein hoher Halbleiterlaserchip-Glasfaser-Koppelwirkungsgrad bei Einkopplung des von dem Halbleiterlaserelement emittierten Laserstrahls, welcher durch den Strahlformer geführt wird, in eine Glasfaser eingekoppelt wird.

10

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im Weiteren näher erläutert.

15 Es zeigen

Figur 1 einen Querschnitt durch einen Halbleiterlaserchip gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

20 Figur 2 einen Querschnitt durch einen Halbleiterlaserchip gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Figur 3 ein Diagramm, in dem der Material-
25 Zusammensetzungsgradient von Aluminium entlang der vertikalen Struktur innerhalb des Strahlformerbereichs dargestellt ist.

Fig.1 zeigt einen Halbleiterlaserchip 100 gemäß einem ersten
30 Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Der Halbleiterlaserchip 100 weist ein Substrat 101, ein Halbleiterlaserelement 102 sowie einen Strahlformer 103 auf.

35 Das Halbleiterlaserelement 102 wird in einem ersten Schritt auf dem Substrat 101 gebildet mittels eines üblichen

T01680" E284450

Herstellungsverfahren zum Herstellen eines Halbleiterlaserelements.

Das Halbleiterlaserelement 102 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel ist als DFB-Halbleiterlaserelement ausgestaltet.

Das Halbleiterlaserelement 102 weist

- eine untere Mantelschicht 104,
- 10 • eine aktive Schicht 105, in der der Laserstrahl erzeugt wird, sowie
- eine obere Mantelschicht 112, auf.

15 Als Substrat 101 kann Gallium-Arsenid (GaAs) oder Indium-Phosphid (InP) eingesetzt werden und als Halbleiterlaserelement ein Halbleiterlaser mit Material aus dem Materialsystem Indium-Gallium-Aluminium-Arsenid, Indium-Gallium-Arsenid-Phosphid oder auch Indium-Gallium-Aluminium-
20 Phosphid (für einen Laserstrahl mit einem Wellenlängenbereich im roten Farbspektrum).

Wird Indium-Phosphid als Substrat 101 verwendet, so ist eine metamorphe Übergangsschicht (nicht dargestellt) zur Anpassung
25 der unterschiedlichen Gitterkonstanten der Materialien des Halbleiterlaserelements 102 gegenüber der Gitterkonstanten des Indium-Phosphids vorteilhaft vorzusehen.

Die metamorphe Übergangsschicht weist eine abhängig von der
30 gewünschten Gitteranpassung gewählte Zusammensetzung des Materialsystems Aluminium-Gallium-Arsenid-Antimonid (AlGaAsSb) auf.

Eine durch einen in Fig.1 symbolisierten ersten Pfeil 106
35 dargestellte Höhe der unteren Mantelschicht 104 beträgt gemäß dem Ausführungsbeispiel 2 μm bis 4 μm .

Die aktive Schicht 105 weist eine Dicke von 0,1 μm bis 0,2 μm auf, symbolisiert durch einen zweiten Pfeil 107.

5 Ferner weist die obere Mantelschicht 112 eine Dicke von 2 μm bis 4 μm auf, symbolisiert durch einen dritten Pfeil 108.

In einem weiteren Schritt wird ein Strahlformerbereich 103 als aluminium-haltiges Schichtenpaket gebildet.

- 10 Das aluminium-haltige Schichtenpaket weist Materialien auf aus zumindest einem der folgenden drei Materialsysteme:
- Indium-Gallium-Aluminium-Arsenid-System (InGaAlAs)
(insbesondere geeignet für ein Substrat 101 aus Indium-Phosphid und Gallium-Arsenid),
 - 15 • Gallium-Aluminium-Arsenid-Antimonid-System (GaAlAsSb)
(insbesondere geeignet für ein Substrat 101 aus Indium-Phosphid), oder
 - Indium-Aluminium-Arsenid-Antimonid-System (InAlAsSb)
(insbesondere geeignet für ein Substrat 101 aus Indium-Phosphid).
- 20

Eine im Wesentlichen vertikal verlaufende Austrittskante 109 des Strahlformers 103 wird unter Einsatz eines Trockenätzverfahrens gebildet.

- 25 In einem weiteren Schritt wird in dem Strahlformerbereich ein im Prinzip dem in Fig.3 dargestellten Verlauf entsprechender Material-Zusammensetzungsgradient 300 gebildet, wobei anzumerken ist, dass der entsprechende Material-
- 30 Zusammensetzungsgradient 300 schon während der Herstellung des aluminium-haltigen Schichtenpakets gebildet werden kann durch entsprechende Zusammensetzungen des für die Abscheidung verwendeten Gases.

- 35 Wie in Fig.3 dargestellt ist, ist der Verlauf 301 des Material-Zusammensetzungsgradienten von Aluminium innerhalb des aluminium-haltigen Schichtenpakets des Strahlformers 103

derart gebildet, dass gemäß diesem Ausführungsbeispiel an der unteren Oberfläche 110 des aluminium-haltigen Schichtenpakets, welches auf der Oberfläche 111 des Substrats 101 aufgewachsen ist, der jeweils maximale Aluminiumanteil
5 enthalten ist.

Der Material-Zusammensetzungsgradient 301 verläuft im Wesentlichen parabelförmig entlang der unteren Mantelschicht 104, dem aktiven Bereich 105 und der oberen Mantelschicht 112, so dass der Verlauf in einem ersten Bereich 302 im Höhenbereich der unteren Mantelschicht, d.h. in den ersten 2 µm bis 4 µm des aluminium-haltigen Schichtpakets von dem maximalen Aluminiumgehalt eine stetige Reduktion des Aluminiumgehalts entlang der vertikalen Aufwachsrichtung
15 gebildet wird.

In einem zweiten Bereich 303, der im Wesentlichen dem Höhenbereich der aktiven Schicht 105 entspricht, wird der Aluminiumgehalt bis auf maximal 90% des maximalen
20 Aluminiumgehalts, vorzugsweise auf maximal 95% des maximalen Aluminiumgehalts, reduziert und dann wieder erhöht entlang des parabelförmigen Verlaufs 301, der in einem der oberen Mantelschicht 112 entsprechenden dritten Bereich 304 weitergeführt wird, so dass an einer oberen Oberfläche 113
25 des Strahlformers 103 wiederum der maximale Aluminiumgehalt gebildet wird.

In einem weiteren Schritt wird eine selektive Nassoxidation auf das aluminium-haltige Schichtenpaket ausgeführt, so dass
30 das aluminium-haltige Material entsprechend der Aluminiumkonzentration in dem jeweiligen Material zu Aluminiumoxid (Al_2O_3) oxidiert wird, wobei sich der Brechungsindex von üblicherweise 2,9 bis 3,5 in dem aluminium-haltigen Schichtenpaket auf ungefähr 1,6 bis 1,8
35 für den Bereich 114, der Dialuminiumtrioxid enthält, erniedrigt.

- Da die Oxidationsrate im Rahmen der selektiven Nassoxidation stark von der Aluminiumkonzentration abhängt, kann somit anschaulich durch die selektive Nassoxidation von aluminiumhaltigen Halbleiterschichten, d.h. dem aluminiumhaltigen Schichtenpaket, mit einem grundsätzlich beliebig vorgebbaren, vertikalen Aluminium-Konzentrationsprofil 301 eine beliebige Oxidationsfront realisiert werden, beispielsweise auch eine Form einer Linse oder eine Strahlformerfunktion.
- 10 Durch den Einsatz einer gekrümmten Maske für das Ätzen der vertikalen Emissionskante 109 des Strahlformers 103 kann gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung sogar ein zweidimensionaler Strahlformer bzw. eine zweidimensionale Linse monolithisch realisiert werden.
- 15 Ein von dem Halbleiterlaserelement 102 emittierter Laserstrahl, in Fig.1 symbolisiert durch einen vierten Pfeil 115, wird somit aus der aktiven Schicht 105 heraus unmittelbar durch den Strahlformer 103 hindurch und
- 20 vorzugsweise in einen Kern 116 einer Glasfaser 117 geführt.
- Fig.2 zeigt einen Halbleiterlaserchip 200 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.
- 25 Der Halbleiterlaserchip 200 weist ein Substrat 201, ein Halbleiterlaserelement 202 sowie einen Strahlformer 203 auf.
- Die einzelnen Elemente 202, 203 sind wie bei dem Halbleiterlaserchip 100 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel
- 30 ausgestaltet mit dem Unterschied, dass das Halbleiterlaserelement 202 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel als FP-Laser ausgestaltet ist.
- Hinsichtlich der Ausgestaltung und der Herstellung der
- 35 weiteren Elemente des Halbleiterlaserchips 200 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel wird auf die Ausführungen hinsichtlich der Ausgestaltung und der Herstellung des

11

Halbleiterlaserchips 100 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel verwiesen, da die einzelnen Herstellungsprozesse dem Herstellungsverfahren des ersten Ausführungsbeispiels identisch sind.

5

In einem abschließenden Schritt wird jedoch gemäß diesem zweiten Ausführungsbeispiel zwischen das Halbleiterlaserelement 202 und den Strahlformer 203 ein Graben 204 geätzt, der einen Luftspalt, anschaulich

10 funktional beschrieben einen geätzten Spiegel bildet, der einen für einen FP-Laser üblicherweise verwendeten Vorderseitenspiegel bildet.

15

Der Luftspalt 204 weist eine Breite von maximal 10 µm auf, wie durch einen Doppelpfeil 205 in Fig.2 symbolisiert ist.

20

Der Graben 204 wird mittels eines Trockenätzverfahrens in die durch das Halbleiterlaserelement 202 und dem Strahlformer 203 gebildete Struktur geätzt.

25

Ein von dem Halbleiterlaserelement 202 in dessen aktiver Schicht erzeugter und emittierter Laserstrahl 206 wird durch den Graben 204 und anschließend durch das aluminium-haltige Schichtenpaket, d.h. den Strahlformer 203 geführt und als

geformter Laserstrahl 207 einer Glasfaser 208, insbesondere dessen Kern 209, zugeführt.

T01E30"EE3460